



Title: Entwicklungslinien einer Rechnengeräte-
Entwicklung von der Mechanik zur Elektronik
Author(s): Konrad Zuse
Date: 1960(?)
Published by: Konrad Zuse Internet Archive
Source: Document - ZIA ID: 0086

The Konrad Zuse Internet Archive preserves and offers free access to the digitized original documents of Konrad Zuse's private papers and to other related sources.

The Konrad Zuse Internet Archive is a nonprofit service that helps scholars, researchers, students and other interested parties discover, use and build upon a wide range of content in a digital archive. For more information about the Konrad Zuse Internet Archive, please contact zusearchive@zib.de.

Your use of the Konrad Zuse Internet Archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use (<http://zuse.zib.de/tou>) including the following license agreement. If you do not accept the Terms & Conditions of Use you are not permitted to use the material.

This work by Konrad Zuse Internet Archive is licensed under a
Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>).
Based on a work at <http://zuse.zib.de>



Attribution (BY) - You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor (but not in any way that suggests that they endorse you or your use of the work). Attribute with "Konrad Zuse Internet Archive (<http://zuse.zib.de>)".

Noncommercial (NC) - You may not use this work for commercial purposes.

Share Alike (SA) - If you alter, transform, or build upon this work, you may distribute the resulting work only under the same or similar license to this one.

The usage of this document requires the consideration of possible third party copyrights, and might necessitate obtaining the consent of the copyright holder. The Konrad Zuse Internet Archive assumes no liability with respect to the rights of third parties. The Konrad Zuse Internet Archive is not responsible for the claims of any third party resulting from any infringement of copyright laws.

Entwicklungslinien einer Rechengeräte-Entwicklung von der Mechanik zur Elektronik*

Mit 12 Bildern

Konrad Zuse

Bad Hersfeld, Deutschland

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Zur Vorgeschichte	4
3	Die Entwicklung von 1934 bis 1945	5
3.1	Mathematische Gesichtspunkte der Entwicklung	5
3.2	Konstruktive Gesichtspunkte der Entwicklung	7
3.2.1	Mechanische Geräte	7
3.2.2	Elektrotechnische Geräte	10
	Röhren-Relaistechik.	10
	Die elektromechanischen Geräte Z 2 bis Z 4.	10
	Spezialmodelle.	12
4	Die Entwicklung nach 1945	14
4.1	Das Serienprinzip	14

*ZIA 0086. ZuP 040/006. Version 1, Abbildungen fehlen. Durchgesehen von R. Rojas, G. Wagner, L. Scharf. Im Text fehlen ganze Zeilen, nicht lesbar oder nicht kopiert.

4.2	Verbesserte Relaisgeräte	15
4.3	Einsatz der Elektronik	17

Zusammenfassung. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht die Entwicklung programmgesteuerter Rechengерäte, die für den Einsatz im wissenschaftlich-technischen Sektor bestimmt sind. Der hier gegebene Überblick über diese Entwicklung, wie sie sich stufenweise von der Mechanik zur Elektronik vollzogen hat, erfolgt bewußt aus der Perspektive des Verfassers heraus, dessen erste Ideen der Konstruktion programmgesteuerter Rechengерäte bis zum Jahre 1934 zurückreichen. Die während des zweiten Weltkrieges vom Verfasser gebauten Modelle Z 1 bis Z 4, über die bisher kaum Einzelheiten bekannt sind, werden kurz skizziert. Der weitere Weg, den diese Rechengерäte-Entwicklung heute genommen hat, stellt sich dar als zwangsläufige Folge einer realen Einschätzung der sich nach 1945 einem Rechengерätekonstrukteur in Deutschland bietenden Möglichkeiten, wobei die sowohl beim Entwurf wie in der praktischen Fertigung gemachten eigenen Erfahrungen und die hierbei angestellten richtungsweisenden, originellen Überlegungen zum Tragen kommen.

Summary. The main concern of this paper is the development of program-controlled computers suitable for use in the field of science and engineering. The survey of this development given here in its step-by-step progress from mechanics to electronics is wittingly presented in the perspective of the author whose conception and first ideas of constructing program-controlled computers go back to 1934. The prototypes Z 1 through Z 4 built by the author during World War II, on which details are hardly known so far, are briefly discussed. The further progress which this computer development undergone to the (unleserlich im Original) estimation of the possibilities which offered themselves to a computer constructor in Germany after 1945; hereby, the experience gained in both theoretical design and practical construction of computers as well as original directive and thoughtful considerations made in the course of this progression by the author, came into effect.

Résumé. L'auteur s'occupe particulièrement de l'évolution des calculatrices commandées par programme et destinées au secteur technico-scientifique. Cette étude de l'évolution progressive de la mécanique vers l'électronique est bien entendu le fruit des conceptions de l'auteur, dont la première idée de construire des calculatrices commandées par programme remonte à 1934. L'auteur donne un bref aperçu des premiers modèles Z 1 à Z 4 qu'il a construits au cours de la deuxième guerre mondiale et sur lesquels on n'avait jusqu'ici que pende détails. L'évolution ultérieure constitue la suite logique d'une estimation réaliste des possibilités qui s'offraient après 1945 aux constructeurs allemands de calculatrices, et de l'application de l'expérience personnelle acquise tant dans l'établissement du projet qu'au cours de la fabrication ainsi que des considérations originales et directives qui en ont résulté.

1 Einleitung

Für die modernen Rechenggeräte hat sich schlagwortartig die Bezeichnung „Elektronische Rechenmaschinen“ eingebürgert. In diesem Zusammenhang treten uns Begriffe wie Elektronik, Speichertechnik, Programmsteuerung, Logistik, Dualsystem, gleitendes Komma und andere mehr entgegen, die alle eine gewichtige Rolle spielen. Das logisch wesentliche Merkmal ist aber – was nicht übersehen werden darf – die *Programmsteuerung*. Die Elektronik sorgt nur für die unvorstellbar hohe Geschwindigkeit.

Die Entwicklung der programmgesteuerten Rechenggeräte kann man etwa in drei Abschnitte einteilen. Da ist zunächst eine Zeit des Tastens und Versuchens, die man als Vorgeschichte bezeichnen kann und die bis in die Zeit kurz vor dem zweiten Weltkrieg reicht; es folgt dann eine, teilweise durch gewisse Probleme der Kriegsführung intensivierte Entwicklung während des Krieges und schließlich die weltweite, mit größter Energie vorangetriebene Entwicklung seit dem Ende des Krieges, deren Ende noch nicht abzusehen ist.

2 Zur Vorgeschichte

Als ein Vorläufer auf dem Gebiet des Rechenmaschinenbaus, der bereits die *Grundidee* einer programmgesteuerten Rechanlage hatte (1835), kann der Engländer Charles Babbage angesehen werden [1, 2]. Er arbeitete jahrzehntelang an dieser Idee, ohne sie jedoch infolge des damaligen Standes der Technik praktisch zum Tragen bringen zu können. Sein Name und seine Idee gerieten in Vergessenheit, und in den Jahren um 1930 gab es wohl kaum einen Rechenmaschinen-Fachmann, dem diese Idee der Programmsteuerung bekannt war. Gewisse Ansätze der Programmsteuerung lagen jedoch auch schon bei einigen *Lochkartenmaschinen* vor [3].

Die Anwendung des *Dualsystems* für Rechenmaschinen wurde ideenmäßig von zwei Franzosen, L. Couffignal [4] und R. Valtat [5] vorbereitet. Schließlich verdient unter den Vorläufern der Entwicklung noch der Engländer A. M. Turing [6] Erwähnung. Er hatte sich bereits frühzeitig vom logischen

(Zeile fehlt im Original)

dem Ziel, eine praktisch einsetzbare Rechenmaschine zu bauen. Vielmehr benutzte er die Idee der Rechenmaschine als Modell für seine theoretischen Studien in der Anwendung der mathematischen Logik.

3 Die Entwicklung von 1934 bis 1945

Die eigentliche Entwicklung programmgesteuerter Rechenmaschinen begann etwa im Jahre 1935, und zwar unabhängig voneinander in Deutschland und in den USA.

In Deutschland kam es zur Entwicklung einer Reihe von Geräten durch den Verfasser, die mit Z 1, Z 2, Z 3 und Z 4 bezeichnet wurden, sowie zweier Spezialmodelle. Eine weitere Entwicklung, und zwar elektronischer Art, erfolgte durch H. Schreyer in Zusammenarbeit mit dem Verfasser an der Technischen Hochschule in Berlin [7, 8]. Schließlich ist auch die Entwicklung von Dr. G. Dirks und Ing. G. Dirks zu erwähnen, die im wesentlichen auf dem Gebiet der elektronischen Buchungsmaschinen [33, 34] und der Magnetspeicherung [35, 36] schon frühzeitig Pionierarbeit leisteten. Leider bestand zwischen den beiden ersten Entwicklungen auf der einen Seite und der letzteren auf der anderen Seite keine Verbindung, so daß die Möglichkeiten, die in der Vereinigung aller deutschen Entwicklungen auf diesem Gebiet gelegen hätten, nicht ausgenutzt werden konnten.

Auch in den USA liefen mehrere Entwicklungen etwa gleichzeitig nebeneinander her, nämlich diejenigen elektromechanischer Art von H. H. Aiken und seinem Mitarbeiterstab [9] und den Bell Laboratorien [19] und schließlich die der ersten brauchbaren elektronischen Rechenmaschine von J. P. Eckert, J. W. Mauchly und H. H. Goldstine, die unter dem Namen ENIAC bekannt und 1946 in Betrieb genommen wurde [11].

Das erste programmgesteuerte Rechengerät, das in allen Teilen vollständig gearbeitet hat, war das deutsche Gerät Z 2 (1941). In den USA wurde als erstes der *Harvard Mark I Computer* in Betrieb genommen (1944).

Von den in Deutschland gebauten Spezialmodellen befand sich eines über zwei Jahre lang im täglichen Einsatz. Die deutschen Geräte wurden bis auf das bei Kriegsende annähernd fertiggestellte Gerät Z 4 durch Luftangriffe zerstört.

Diese Entwicklung sei nun insbesondere aus der Perspektive des Verfassers näher betrachtet und zwar einmal nach mathematischen und zum anderen nach konstruktiven Gesichtspunkten.

3.1 Mathematische Gesichtspunkte der Entwicklung

Befassen wir uns zunächst mit der *Idee der Programmsteuerung*, und zwar wie sie Babbage vorschwebte. Er zerlegte jede mathematische Formel in einzelne Elementargleichungen, die wir heute Plangleichungen nennen, etwa in der Form:

$$\begin{aligned}V_1 + V_7 &= V_6 \\V_6 \times V_5 &= V_9\end{aligned}$$

Hierbei entsprechen die Indizes der Variablen den „Adressen“ im heutigen Sinne. Jede Elementargleichung ist gekennzeichnet durch drei Adressen (zwei für die Variablen und eine für das Resultat) und ein Operationszeichen. Babbage legte seinem System die beim Jacquard-Webstuhl eingeführte Lochkartentechnik zugrunde. Indem er jeder Variablen und jeder Operation (unleserlich im Original) zuordnete, die dann in einer den Formeln entsprechenden Reihenfolge hintereinander gesetzt wurden, schuf er somit ein Programm. Eine eigentliche Adressenentschlüsselung kannte er noch nicht. Sein Gerät sollte so arbeiten, dass jeder Speicherzelle ein bestimmtes Loch in der Lochkarte zugeordnet ist, das die betreffende Speicherzelle aufruft. Ferner kannte Babbage schon den bedingten Befehl, wenn er ihn auch konstruktiv noch nicht ausgewertet hat.

Als eine Art Programmsteuerung kann man auch die Schalttafeln (Panneau) der Lochkartengeräte auffassen. Im wesentlichen bestand jedoch die Programmierung lediglich darin, bestimmte Register mit bestimmten Spalten der abzufühlenden bzw. zu lochenden Karten für die Dauer der Rechnung fest miteinander zu verbinden, wobei auswechselbare Panneaus den verschiedenen Programmen entsprechen. Diese Art der Programmsteuerung ist heute noch bei vielen Lochkartengeräten üblich. Die Programmsteuerung von Babbage kommt somit der heute üblichen Form am nächsten.

Heute ist die Codierung von Befehlen in Form von Operations- und Adressteilen üblich. Das erste Gerät, welches konsequent nach diesem Prinzip arbeitete, war das Gerät Z 3 (Bild 1).

Abbildung 1: Grundschemata des Rechengerätes Z 3

Bei diesem werden die Befehle in codierter Form in einen Lochstreifen gestanzt und nacheinander in ein Befehlsregister gebracht, das sowohl das Rechenwerk als auch das Speicherwerk steuert. Die Entschlüsselung der Adressen erfolgt dabei über eine Wahlpyramide. Die Z 3 arbeitete noch nicht mit bedingten Befehlen, sondern mit sogenannten starren oder linearen Programmen.

Ein weiterer mathematischer Gesichtspunkt ist die *Wahl des Zahlensystems*. Die ersten Maschinen, die in Deutschland gebaut wurden, arbeiteten nach dem reinen Dualsystem. In den USA hat man meistens codierte Dezimalsysteme verwendet. Ein weiterer Schritt in dieser Entwicklung war die *Einführung des gleitenden Kommas*, wofür der Verfasser seinerzeit den Ausdruck „halblogarithmische Form“ einführt [12]. Die voll-logarithmische Form erschien zwar für wissenschaftliche Rechnungen erstrebenswert, da sich hiermit Multiplikationen und Divisionen elegant durchführen ließen und auch das Potenzieren verhältnismäßig leicht (Zeile fehlt im Original)

Erfassung eines großen Spielraums in der Größenordnung der Zahlen. Für die bekannten dezimalen Additionslogarithmen läßt sich selbstverständlich leicht das

duale Analogon für die Logarithmen mit der Basis 2 finden. Die konstruktive Verwirklichung dieser Idee stößt jedoch auf erhebliche Schwierigkeiten. Die Speicherung der Additionslogarithmen erfordert erheblichen Aufwand, der mit der geforderten Genauigkeit stark anwächst. Will man das vermeiden, so sind komplizierte Interpolationen erforderlich, die den Zeitgewinn des logarithmischen Rechnens wieder rückgängig machen [13].

Diese Schwierigkeiten lassen sich umgehen, wenn man von dem Logarithmus nur den ganzzahligen Teil, d. h. also die Stellen vor dem Komma (Exponent), und als Mantisse nicht die logarithmische Mantisse, sondern die reine Ziffernfolge der darzustellenden Zahl verwendet. Durch diese Einführung der „halblogarithmischen Form“ wurden die vielen Vorteile des logarithmischen Rechnens erst für die Rechenmaschinen verwertbar.

Unter den mathematischen Gesichtspunkten ist noch die *Anwendung der mathematischen Logik* (Logistik) auf Probleme der Schaltungstechnik zu nennen. Auch diese Fragen wurden unabhängig voneinander in den USA [14] und Deutschland [15, 16] aufgegriffen. Diesbezügliche Arbeiten des Verfassers aus den Kriegsjahren blieben leider unveröffentlicht [17]. Heute ist die Schaltalgebra eine Wissenschaft für sich geworden und gehört zum täglichen Handwerkszeug der Rechenmaschinen-Konstrukteure.

3.2 Konstruktive Gesichtspunkte der Entwicklung

Wie schon im Titel des Aufsatzes gesagt, reicht die konstruktive Entwicklung der programmgesteuerten Rechengeräte „von der Mechanik zur Elektronik“. Die Modelle von Babbage waren rein mechanisch, ganz einfach aus dem Grunde, weil es vor hundert Jahren die Elektrotechnik im heutigen Sinne noch nicht gab. Babbage hielt sich an damals bekannte Konstruktionselemente, dezimale Rechenmaschinen mit Ziffernrädern u. dgl. Man kann sich vorstellen, welche Schwierigkeiten die Konstruktion des von ihm geplanten Speichers für 1000 Worte zu je 50 Dezimalstellen bereitete. Interessant ist, daß Babbage erstmalig die unverzögerte Durchschaltung des Stellenübertrages durch sämtliche 50 Dezimalstellen des Rechenwerkes einführte, eine Idee, die ebenso wie die seiner Programmsteuerung wieder vergessen und von der Rechenmaschinen-Industrie nicht aufgegriffen wurde.

3.2.1 Mechanische Geräte

Vor der Entwicklung der modernen programmgesteuerten Rechengeräte waren Rechenmaschinen im wesentlichen mechanisch gebaut. Einige Versuche, Rechengeräte mit Relais zu bauen, waren zwar schon unternommen worden, hatten aber

keine praktische Bedeutung erlangt. Lediglich bei Lochkartenmaschinen wurde der Vorteil der elektrischen Übertragungsmöglichkeit schon frühzeitig ausgenutzt. Das eigentliche Rechnen selbst erfolgte auch in diesen Geräten mechanisch.

Auch der Verfasser begann seine ersten Entwicklungen auf rein mechanischer Basis. Das Ziel war dabei, ein mechanisches Analogon für das elektrische Relais zu entwickeln. Hieraus entstand die mechanische Schaltgliedtechnik. Das Grundprinzip besteht darin, daß mechanische Bleche in zueinander rechtwinkligen (Zeile fehlt im Original)

Die Stellung der Bleche entspricht den zu verknüpfenden Ja-Nein-Werten einer Schaltung. Dabei bewirkt bzw. verhindert ein Steuerblech die Übertragung von Ja-Nein-Werten von einem Blech auf ein zweites durch mechanische Kupplung über Stifte und geeignet geformte Ausschnitte (Bild 2). Aus solchen Schaltgliedern

Abbildung 2: Mechanisches Schaltgliedsystem

- a) Festblech; b, c) Steuerbleche; d) Impulsblech; e) Zwischenblech;
f) Resultatblech Die Analogie der Funktionen der Schaltglieder mit den Funktionen der Glieder eines Relaisystems ist durch identische Buchstabenindizes verdeutlicht

kann man unter konsequenter Anwendung der Schaltalgebra komplette Rechenwerke aufbauen.

In dieser Technik wurde das Modell Z 1 ausgeführt, welches ein vollständiges (Zeile fehlt im Original)

Im Grundaufbau (Bild 3) sehen wir zwei Rechenwerke A und B. A dient der Verarbeitung des Exponenten, B der Verarbeitung der Mantisse. Die in mechanischer Schaltgliedtechnik aufgebauten Schaltungen entsprechen etwa den heutigen in der Relais-technik üblichen Additionsschaltungen. Unten rechts ist die Eingabe- und Ausgabevorrichtung angedeutet. Die Eingabe erfolgt über eine vierstellige Dezimaltastatur DT mit Kommaeinstellung K. (Die Position des Kommas kann relativ zu der eingegebenen Gruppe von vier Dezimalziffern durch Verschieben frei eingestellt werden.) Die Ausgabe erfolgt über eine einfache Anzeigevorrichtung (Anz)

Abbildung 3: Grundaufbau des Rechengerätes Z 1

für ebenfalls vier Dezimalziffern mit einer entsprechenden Anzeige der Lage des Kommas. Die einzeln eingetasteten Dezimalziffern werden ziffernweise zwecks Übertragung ins Dualsystem über je vier Glieder des Rechenwerkes B gegeben. Beim Rückübersetzen werden die Ziffern des Resultates einzeln herausgegeben.

Besonders interessant ist vielleicht die Steuerung der einzelnen Operationen durch das Leitwerk L. Das Prinzip entspricht in etwa dem, was man heute als „Mikroprogrammierung“ bezeichnen würde. In jedem einzelnen „Spiel“ (entsprechend

einer einzelnen Addition) sind dabei bestimmte Einstellungen an den Rechenwerken erforderlich, die von verschiedenen Bedingungen der jeweiligen „Situation“ abhängen. Diese Situation wird durch drei Komponenten gekennzeichnet:

1. Die Art der Operation (Op),
2. Die Teiloperation (TOp),
3. Die Spielnummer innerhalb der Teiloperation (Taktgeber Z).

Diese werden an getrennte Organen eingestellt und fortgeschaltet. Im ganzen ergeben sich neun Ja-Nein-Werte als Komponenten zur Kennzeichnung der Operations Situation

(Zeile fehlt im Original)

zulösenden Einzelvorgänge (Übertragung von Werten, Starten von Ketten usw.) ist nun ein Steuerblech zugeordnet, das genau in den Situationen anspricht, in denen es in Funktion treten soll. Ein Beispiel zeigt Bild 4. Wir haben vertikale Einstellbügel $b_1 - b_9$, welche den neun Ja-Nein-Werten der Situationskennzeichnung entsprechen. Sie sind doppelt ausgeführt und miteinander fest gekoppelt. In der Zeichnung ist die Situation LL, OOOO, OLO eingestellt; das bedeutet: Teiloperation Nr. 3, Spiel Nr. 1 der Operation Nr. 2. Ein Blech wird durch eine Feder zwecks Abführung der Situation nach rechts verschoben und ist derart mit Nocken versehen, daß es nur in der gewünschten Einstellung der Bügel nicht ge-

Abbildung 4: Schema eines Steuerblocks

sperrt ist und durch die freigegebene Bewegung die betreffenden Steuervorgänge auslöst. Die Auslösung der dem Steuerblech zugeordneten Vorgänge hängt dabei noch von weiteren Bedingungen, z. B. Teilergebnissen der Rechnungen, ab (Schaltungsteil St in Bild 3). Etwa 90 derartige Bleche, welche je einen Mikrobefehl repräsentieren, waren bei dem Gerät Z 1 erforderlich, um die Steuerung für folgende sieben Operationen zu bewirken: Addieren, Subtrahieren, Multiplizieren, Dividieren, Wurzelziehen, Dezimal-Dual- und Dual-Dezimal- Übersetzen im gleitenden Komma.

Die mechanische Schaltgliedtechnik hat sich für den Aufbau von Rechenwerken (Zeile fehlt im Original)

Mechanik bald natürliche Grenzen, die z. B. durch das Zusammenspiel verschiedener Teile des Gerätes gegeben sind. Man kann nicht im beliebigen Maße „um die Ecke herum“ durch Gestänge u. dgl. Signale übertragen (Bild 5).

Dagegen ergab die Anwendung dieser Technik auf das Speicherwerk günstige Konstruktionen, die allerdings heute ebenfalls durch die moderne Magnetspeichertechnik überholt sind. Die Geräte Z 1, Z 2 und Z 4 waren mit *mechanischen Speichern* ausgerüstet. Das Grundprinzip der Speicherung besteht darin,

daß schichtweise zwischen Glasplatten Speicherglieder in Matrixform angeordnet sind, wobei die gespeicherte Dualziffer in jedem einzelnen Falle durch die Lage eines Metallstiftes gekennzeichnet ist, der rechts oder links vor einer Nase liegt (Bild 6). Der Vorteil der Konstruktion liegt darin, daß sie aus verhältnismäßig einfachen, gestanzten Blechen aufgebaut werden kann. Die Versuchsmodelle wur-

Abbildung 5: Mechanische Speicherschaltgliedtechnik

den allerdings von Hand gefertigt, da die Anfertigung von Werkzeugen für den einmaligen Bau nicht lohnte.

Der mechanische Speicher des Gerätes Z 4 ist aber noch nach dem Kriege (etwa acht Jahre) in Betrieb gewesen.

Nach dem Kriege wurden auch noch einige Versuche durchgeführt, die mechanische Schaltgliedtechnik auf Lochkartengeräte anzuwenden, erlangten jedoch angesichts der Entwicklung der wesentlich schnelleren elektronischen Bauelemente keine praktische Bedeutung und sind heute nur noch aus historischen Gründen erwähnenswert [18].

3.2.2 Elektrotechnische Geräte

Röhren-Relaistechnik. Sehr bald ergab sich die Notwendigkeit, für den Bau der Rechengерäte die Möglichkeiten der Elektrotechnik auszunutzen. Dies erfolgte in zwei Richtungen. Von H. Schreyer wurden elektronische Bauelemente entwickelt, die von vornherein für Rechenmaschinen zugeschnitten waren [7, 8].

(Zeile fehlt im Original)

in drei Operationen des Aussagenkalküls auflösen lassen, und entwickelte entsprechende elektronische Bauglieder für diese drei Operationen. Sie bauten auf dem Zusammenspiel zwischen Röhre und Glimmlampe auf, wobei der Röhre die Funktion der Wicklung eines elektromagnetischen Relais und der Glimmlampe die Funktion der Kontakte zufällt. Als Speicherelemente dienten ebenfalls Glimmlampen, deren gezündeter oder nicht gezündeter Zustand den Speicherinhalt darstellt. Die erreichte Frequenz betrug etwa 10 kHz. Da es geplant war, hiernach Rechenmaschinen nach dem Parallelprinzip zu bauen, konnte damit die Rechengeschwindigkeit gegenüber Relaismaschinen etwa vertausendfacht werden. Die Entwicklung führte zum Bau eines kleinen zehnstelligen dualen Rechenwerkes mit etwa 100 Röhren. Das Gerät wurde leider gegen Ende des Krieges durch Kriegseinwirkung zerstört.

Die elektromechanischen Geräte Z 2 bis Z 4. Die zweite Richtung schlug der Verfasser ein und verfolgte den Bau von Geräten, die mit den bekannten elektromechanischen Fernsprechrelais aufgebaut sind. Die inzwischen von ihm

entwickelte Schaltalgebra, die im wesentlichen in der Anwendung des Aussagenkalküls besteht, gestattete es, ohne große Schwierigkeiten den logischen Aufbau der in mechanischer Schaltgliedtechnik entwickelten Geräte auf die Relaisgeräte zu übertragen.

Es wurde zunächst ein kleines Rechenwerk mit festem Komma gebaut (1939), das etwa 200 Relais enthielt. Dieses Rechenwerk, das die Bezeichnung Z 2 erhielt, wurde mit dem mechanischen Speicher des Gerätes Z 1 gekoppelt. Eine einfache Programmsteuerung mit Lochstreifen wurde angeschlossen. Es gelang mit diesem Gerät gewisse einfache Formeln durchzurechnen und das Prinzip der Programmsteuerung zu demonstrieren. Jedoch kam das Gerät für den praktischen Einsatz noch nicht in Frage.

Es folgte der Bau des Gerätes Z 3, das wegen seiner historischen Bedeutung etwas eingehender beschrieben werden soll.

Die Daten sind folgende:

Programmsteuerung:	Lochstreifen (Normalfilm), Einadreßcode, je Befehl 8 Bits (wie bei Z 4).
Programmherstellung:	Handlocher
Rechenwerk:	rein dual, gleitendes Komma, Parallelrechenwerke für Exponenten und Mantisse, Wortlänge: 22 Bits (Vorzeichen, sieben Exponentenstellen, 14 Mantissenstellen), eingebaute Operationen: +, −, ×, :, $\sqrt{}$, Multiplikation mit 2, $1/2$, 10, 0.1, -1
Übersetzung:	dezimal-dual, dual-dezimal, Steuerung der Operationen: Schrittschalter und Relaisketten.
Speicherwerk:	Relaisspeicher für 64 Worte.
Eingabe:	Tastatur, vier Dezimalen mit Kommaeinstellung.
Ausgabe:	Anzeige auf Lampenfeld, vier Dezimalen mit Komma-Anzeige.
Gesamtzahl der Relais:	2600
Bauzeit:	1939 bis 1941
Aufstellungsort:	Berlin, Methfesselstraße 7; (Zeile fehlt im Original)

Bild 7 zeigt ein Blockschema des Zahlenkreislaufes. Das Gerät entsprach in seinem Aufbau im wesentlichen dem Gegenstand der Patentanmeldung, [12]. An seiner Finanzierung war die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL), Berlin-Adlershof, wesentlich beteiligt. Es sei hier der Name von Herrn Professor Teichmann erwähnt, der sich stark dafür einsetzte, daß diese Entwicklung zum praktischen Einsatz kam. Auf dem Gerät wurde eine Reihe von interessanten Programmen erprobt und durchgerechnet. Nach Fertigstellung des Gerätes Z 3 wurden sofort die Pläne für ein verbessertes Gerät, die Z 4, ausgearbeitet, mit dessen Bau

Abbildung 6: Blockschema des Zahlenkreislaufes im Gerät Z 3

LS = Lochstreifen, At = Abtaster, BR = Befehlsregister, OpW = Operationswähler, LW = Leitwerk, St = Steuerungsleitungen, SpW = Speicherwähler, Sp = Speicher, Ei = Eingabe, RA = Ausgabe, OpT = Operationstasten, ZT = Zifferntasten, KT = Kommatasten, ZL = Ziffernlampen, KL = Kommatalampen, R = Rechenwerk, V = Vorzeichenwerk, A = Exponentenwerk, B = Mantissenwerk, Add 1, 2 = Additionswerke

sofort begonnen wurde. Dieses Gerät entspricht in seinem logischen Aufbau im wesentlichen dem Gerät Z 3; es unterscheidet sich von diesem jedoch in folgenden Punkten:

1. größere Stellenzahl (32 Bits),
2. besondere Einrichtungen zur Programmfertigung,
3. mechanisches Speicherwerk,
4. verschiedene technische Verbesserungen.

Das Gerät war 1945 soweit fertiggestellt, daß es einfache Programme rechnen konnte. Es war das einzige von den während des Krieges gebauten Geräten, das (Zeile fehlt im Original)

Die Historie dieses Gerätes ist eine abenteuerliche Geschichte. Es wurde später weiter ausgebaut (Bild 8) und an die Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, vermietet (1950 – 1955). Anschließend fand es Aufstellung im Institut von Herrn Professor Dr.-Ing. H. Schardin, Laboratoire des Recherches, St. Louis.

Abbildung 7: Rechengerät Z 4

Spezialmodelle. Neben diesen universalen programmgesteuerten Rechengeräten wurden während des Krieges vom Verfasser zwei Spezialmodelle für Flügelvermessungen gebaut. Es handelte sich dabei um folgende Aufgabenstellung:

Flügel und Leitwerk eines ferngesteuerten Flugkörpers wurden für jedes gefertigte Modell an etwa 100 Meßstellen vermessen und die Abweichungen von der Soll-Form auf einem Protokoll registriert. Durch eine längere Rechnung, die im wesentlichen in Additionen, Subtraktionen und Multiplikationen mit Einflußwerten bestand, wurden die zu erwartenden aerodynamischen Abweichungen des Flugkörpers ermittelt und entsprechende Einstellungen der Flügel und des Leitwerkes vorgenommen. Für diese Rechnungen waren sechs normale Vierspezies-Tischrechenmaschinen mehrschichtig laufend im Einsatz. Der Verfasser baute nun

ein Spezialmodell, welches das Rechenprogramm automatisch durchführte, wobei lediglich die Werte des Protokolls einzutasten waren.

Das Gerät arbeitete in Relaistechnik und besaß etwa 800 Relais. Die Programme waren auf Schrittschaltern fest verdrahtet und konnten lediglich durch Knopfdruck ausgelöst werden. Ebenso waren die konstanten Einflußwerte auf Schrittschaltern verdrahtet. Die Ablesung des Protokolls wurde durch ein Lampenfeld erleichtert, auf welches das Protokoll aufgelegt wurde. Die jeweils angeforderte Zahl wurde erleuchtet.

Dieses Gerät arbeitete etwa zwei Jahre lang bei den Henschel-Flugzeugwerken in mehrschichtigem Einsatz. Auch dieses Modell wurde durch Kriegseinwirkungen zerstört.

Ein verbessertes Modell mit erweiterter Aufgabenstellung wurde fertiggestellt, (Zeile fehlt im Original)

wurden die Werte an den Meßuhren direkt abgetastet und auf die Rechenmaschine übertragen [19]. Die Meßuhren wurden dabei durch ein Schrittschalterwerk abgefühlt, und pro 1/100 Millimeter Abfühlweg wurde ein Impuls in das Rechenwerk gegeben. Der Meßwert stand dann auf Schrittschaltern im Rechenwerk und konnte von dort aus dual verschlüsselt ausgewertet werden.

Erwähnenswert ist ferner noch der während des Krieges erfolgte Bau eines kleinen logistischen Rechengerätes für Operationen des Aussagenkalküls [20]. Das Gerät konnte den Funktionsablauf einer aussagenlogischen Funktion mit fünf Variablen ausrechnen.

Neben dem Bau praktischer Modelle mögen folgende theoretische Arbeiten des Verfassers genannt sein, die im wesentlichen bis 1945 entstanden:

1. Ansätze einer allgemeinen Theorie des Rechnens [17] (unveröffentlicht). Diese Arbeit behandelt in erster Linie die Anwendung des Aussagenkalküls auf Rechenprobleme und gewisse Grundelemente der Schaltungsmathematik.
2. Der Plankalkül [21].

Ziel dieser Untersuchungen war es, das programmgesteuerte Rechnen über das Zahlenrechnen hinaus auf allgemein kombinatorische Rechenprozesse auszudehnen, z. B. auch auf das Problem der „Programmfertigung“. Dem Verfasser schwebten hierbei „vorwiegend arithmetische“ Rechengeräte einerseits und „logistische“ Rechengeräte andererseits vor.

Ziel des Plankalküls war es, die theoretischen Voraussetzungen für die Formulierung derartiger allgemeinsten Probleme zu schaffen. Pläne für nach diesen Prinzipien gebaute Rechengeräte blieben jedoch auf dem Papier. Die während des Krieges angefertigten Geräte waren bewußt ohne bedingte Befehle und damit

ohne die dadurch gegebenen Möglichkeiten geplant, um erst einmal diese Stufe der Programmsteuerung sicher zu erreichen. Die verschiedenen Möglichkeiten bedingter Befehle, der Befehlsumrechnung usw. wurden lediglich im Plankalkül untersucht.

4 Die Entwicklung nach 1945

Nach Kriegsende wurden die Schranken für den Informationsaustausch zu beiden Seiten des Atlantiks geöffnet. Die in Europa und die in Amerika während des Krieges gebauten Geräte wurden bereits eingangs erwähnt. Die wesentlichen Unterschiede beider Entwicklungen seien hier nochmals tabellarisch gegenübergestellt:

Stand 1945	
Deutschland	USA
Dualsystem	Dezimalsystem (verschlüsselt)
gleitendes Komma	festes Komma
elektromechanische Geräte,	elektromechanische und elektronische
elektronische Vorversuche	Geräte
Magnetspeicherung (Dirks)	
(Zeile fehlt im Original)	

In Deutschland kamen die Arbeiten nach dem Kriege selbstverständlich zunächst für einige Jahre zum Stillstand. Währenddessen nahmen die Entwicklungen in den USA und auch in anderen Ländern, insbesondere in England, gewaltige Formen an. Der Vorsprung, den Deutschland in gewisser Hinsicht Ende des Krieges hatte, wurde sehr bald aufgeholt. Es ist hier nicht der Platz, auf die Fülle der amerikanischen und englischen Entwicklungen im einzelnen einzugehen. Jedoch seien einige charakteristische Merkmale der weiteren Entwicklung besprochen.

4.1 Das Serienprinzip

Vor allem ist hier das Serienprinzip zu erwähnen, das sich bald als sehr vorteilhaft für den Bau elektronischer Rechengeräte erwies. Es bietet die Möglichkeit, den an sich hohen konstruktiven Aufwand elektronischer Schaltungen durch deren höhere Geschwindigkeit auszugleichen, indem man Vorgänge, die bei elektromechanischen Geräten nebeneinander auf parallelen Schaltungsteilen ablaufen, bei elektronischen Geräten nacheinander in der gleichen Schaltung zur Ausführung bringt.

Es war das Verdienst John von Neumanns, als einer der ersten dieses Prinzip herausgestellt und mit allen Konsequenzen untersucht zu haben [22].

Die Möglichkeit der Verschlüsselung von Dezimalziffern wurde gründlich untersucht (Aiken-Code, Stibitz-Code). Das Rechnen mit Adressen im Verein mit bedingten Befehlen und gespeicherten Programmen wurde in den angelsächsischen Ländern in seinen Möglichkeiten untersucht und in einer Reihe von Rechengern verwirklicht. Hierdurch erhielten die Programme eine große Beweglichkeit.

Die Konstruktionselemente wurden auf breiter Basis studiert und in vielen Variationen verwendet. Erwähnt seien Ultraschall-, Kathodenstrahlröhren-, Magnettrommel- und Magnetkernspeicher.

4.2 Verbesserte Relaisgeräte

Als etwa im Jahre 1949 in Deutschland die Entwicklung wieder aufgegriffen werden konnte, war es schwer, den Anschluß zu finden. Es seien hier aus den verschiedenen Arbeiten nur die Entwicklungen, an denen der Verfasser beteiligt war, herausgegriffen. Da die Elektronik um die damalige Zeit noch immer Unsicherheiten aufwies, wurden zunächst die Arbeiten an den Relaisgeräten fortgesetzt. Wie schon oben erwähnt, konnte aus dem Kriege als einziges Gerät die Z 4 gerettet werden, welche an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich aufgestellt wurde. Die Ergänzungen bestanden in erster Linie in einem Lochstreifenwerk für Zahlen und im. Einbau von bedingten Befehlen (hauptsächlich bedingter Sprungbefehle).

Das Gerät Z 4 fand noch einen Nachfolger in dem Gerät Z 5, welches 1952 an die Optischen Werke Leitz in Wetzlar geliefert wurde (Bild 9). Auch die Z 5 ist ein Relaisgerät, das im Dualsystem und mit gleitendem Komma arbeitet. Sie besitzt eine sechsmal höhere Geschwindigkeit als die Z 4. Die bedingten Sprungbefehle wurden durch Rufbefehle ergänzt, so daß mit Hilfe der Bandsteuerung die einzelnen Bänder und daselbst beliebige Unterprogramme aufgerufen werden können.

Das Gerät Z 5 stellt gewissermaßen den Abschluß einer Entwicklungsreihe von (Zeile fehlt im Original) ihre Bedeutung für die Konstruktion von Rechenmaschinen, obwohl schon die ersten, wesentlich schnelleren elektronischen Maschinen gebaut wurden. Waren bisher nur einzelne Exemplare bestimmter Gerätetypen entstanden, so begann jetzt die serienmäßige Fertigung von z. T. kleineren Relaisgeräten.

Abbildung 8: Relais-Rechengern Z 5

Hierbei handelt es sich einmal um einen Rechenlocher, der für eine große Büromaschinenfirma gebaut und in etwa 25 Exemplaren ausgeliefert wurde und auch heute noch in Betrieb ist. Mit diesem Gerät konnte die zeit überbrückt werden,

in der ein großer Bedarf an Rechenmaschinen auf diesem Sektor einsetzte, die elektronische Entwicklung jedoch noch nicht marktreif war. Der Rechenlocher

Abbildung 9: Relais-Rechengerät Z 11

arbeitet im verschlüsselten Dezimalsystem (Stibitz-Code); durch Kombination zweier Parallel-Addierwerke konnte trotz einer an sich niedrigen Impulsfrequenz (Zeile fehlt im Original)

Ein weiterer Typ dieser Art ist das Relais-Rechengerät Z 11 (Bild 10). Es ist das erste in Deutschland serienmäßig gebaute programmgesteuerte Rechengerät für mathematische Rechnungen. Von ihm sind inzwischen über 30 Stück zum Einsatz gekommen.

Als Ausgangspunkte dieses Gerätes sind einmal das im Kriege gebaute Spezialmodell des Verfassers und zum anderen das von Herrn Regierungsrat H. Seifers in München konstruierte Modell SM 1 anzusehen, das speziell für Zwecke der Flurbereinigung entwickelt worden war [23]. Seifers hat den Prototyp völlig selbständig und zunächst ohne Verbindung mit dem Verfasser gebaut. Das Gerät arbeitete anfangs rein dual, mit festem Komma und mit fest eingebauten Programmen (Schrittschaltersteuerung).

Seine größte Verbreitung hat das Gerät Z 11 im Vermessungswesen (Flurbereinigung, Landesvermessung, Stadtvermessung) gefunden. Aber auch in einer Reihe von optischen Firmen und in der Rentenberechnung hat es mit Erfolg Eingang gefunden. Im Vermessungswesen ist es deshalb so beliebt, weil die einzelnen Programme lediglich über Drucktasten ausgewählt zu werden brauchen. Die Anforderungen an die Programme wurden jedoch gerade durch den Einsatz in der Optik immer höher. Die Schrittschaltersteuerung erlaubt es zunächst, die einzelnen Programme an sich sehr beweglich zu gestalten. Die Steuerung besteht nämlich darin, daß von den einzelnen Kontaktbahnen der Schrittschalter Spannung an verschiedene Stellen des Gerätes gelegt wird (meistens Übertragungen auslösende Relais). Jeder derartige „Mikrobefehl“ kann von beliebigen Bedingungen abhängig gemacht werden, indem er über beliebige Kontaktkombinationen innerhalb des Gerätes gelegt wird. In jedem Schritt der Drehwähler wird ein aus Mikrobefehlen zusammengesetzter Befehl ausgeführt. Jedoch müssen diese Befehle vor dem Bau in die Verdrahtungspläne aufgenommen werden.

Bald jedoch entstand das Bedürfnis, die Programme ändern zu können. Dazu wurde auch dieses Gerät mit einer Bandsteuerung versehen, wobei die Programme von vier Bändern in beliebiger Ordnung abgerufen werden können. Die Möglichkeit, Zahlen dual oder dezimal über Lochstreifen aus- und einzugeben, gibt dem Gerät weitere Beweglichkeit.

4.3 Einsatz der Elektronik

Inzwischen hatte das allgemeine Interesse an elektronischen Rechengeräten dazu geführt, daß einige deutsche Hochschul- und Forschungsinstitute die Entwicklung elektronischer Rechengeräte aufnahmen. Es ist hier nicht der Ort auf diese Entwicklungen einzugehen; die Arbeiten der Entwicklungsgruppen in Göttingen, München [24] und Darmstadt dürfen als bekannt vorausgesetzt werden (vgl. hierzu auch [25, 26]. Es mag eine gewisse Tragik darin liegen, daß eine einheitliche Linie aller deutschen Stellen, die im Angesicht der enormen Anstrengungen im Ausland unter den erschwerten Nachkriegsverhältnissen an diesem Problem arbeiteten, nicht erreicht werden konnte.

Für den Verfasser gab es auf Grund einfacher realer Umstände nur den Weg der Entwicklung industriell zu fertigender Geräte. Die hierbei geltenden Gesichtspunkte seien einmal zusammengestellt:

1. Das Gerät muß verhältnismäßig klein sein, einmal aus Gründen des Kapitalbedarfs und zweitens, um es den europäischen, insbesondere deutschen Ver-
(Zeile fehlt im Original)
2. Die Rechengeschwindigkeit einerseits und die Leistungsfähigkeit von Ein- und Ausgabe andererseits müssen zueinander in einem vernünftigen Verhältnis stehen.
3. Die Punkte 1 und 2 bedingen, daß das Gerät kein ausgesprochenes „datenverarbeitendes“ Gerät sein kann, da hierzu leistungsfähige Ein- und Ausgabegeräte erforderlich sind, deren Entwicklung langwierig und teuer ist.
4. Bei der Konstruktion der Rechenmaschine selbst soll der Gesichtspunkt gelten, mit möglichst geringem Aufwand eine möglichst große Vielseitigkeit zu erreichen, d. h. die Vielseitigkeit des Gerätes soll dadurch erreicht werden, daß aus einfachen Grundoperationen gut organisierte Programme aufgebaut werden.
5. Eine somit wirtschaftlich tragbare hohe Speicherkapazität soll erreicht werden. Dies ist insbesondere auch im Zusammenhang mit Punkt 4 wichtig, da eine bewegliche Programmierung nur durch gespeicherte Programme erreicht werden kann.
6. Das Gerät sollte nach Möglichkeit mit bewährten Bauelementen gebaut werden.

Diese Gesichtspunkte führten zur Konstruktion des programmgesteuerten Rechengerätes Z 22 (Bild 11) mit folgenden charakteristischen Merkmalen:

Abbildung 10: Das elektronische Rechengerät Z 22

- (a) Röhrentechnik und Logik mit Dioden (entsprechend Punkt 6);
- (b) Serienprinzip (entsprechend den Punkten 1 und 4);
- (c) Trommelspeicher (entsprechend den Punkten 5 und 6);
- (d) Einfache Grundoperationen, stark ausgebaute logische Möglichkeiten (ent-
(Zeile fehlt im Original)
- (e) Eingabe über Lochstreifen, Ausgabe über Fernschreiber (entsprechend den
Punkten 3 und 6);
- (f) Einsatzmöglichkeiten vorwiegend im wissenschaftlich-technischen Sektor ein-
schließlich kommerzieller Mathematik.

Um den logischen Aufbau des Gerätes entsprechend Punkt 4 (einfache Grundoperationen) zu besprechen, seien zunächst einmal einige grundsätzliche Gesichtspunkte betrachtet.

Die Theorie des Rechnens ergibt, daß sämtliche Rechenoperationen grundsätzlich in aussagenlogische Operationen mit Ja-Nein-Werten zerlegt werden können. Diese 3 Grundoperationen sind: Konjunktion, Disjunktion und Negation. Tatsächlich ist es prinzipiell möglich, Rechenmaschinen nach diesem Prinzip zu bauen, deren eigentliches Rechenwerk lediglich die aussagenlogischen Operationen ausführt, (z. B. das oben erwähnte einfache Rechengerät für Operationen des Aussagenkalküls).

Die Einfachheit des Aufbaues gilt aber im Rahmen einer programmgesteuerten Rechenmaschine nur für das Rechenwerk. Das Speicherwerk selbst ist zwar ebenfalls insofern einfach, als jede „Speicherzelle“, d. h. jede geschlossen aufzurufende Einheit lediglich einen einzigen Ja-Nein-Wert zu speichern hat. Die Auswahlrichtungen sind aber sehr umfangreich, da ja jeder einzelne Ja-Nein-Wert für sich ansprechbar sein muß. Ebenso sind die Programme sehr umfangreich, da sämtliche Operationen – selbst einfache Additionen – in ihre kleinsten rechnerischen Grundoperationen mit Ja-Nein-Werten aufgelöst werden müssen. Diesem Extrem mit dem einfachsten logischen Rechenwerk steht die andere Lösung gegenüber mit einem Rechenwerk, bei welchem die arithmetischen Grundoperationen eventuell mit gleitendem Komma fest verdrahtet sind. Nach diesem Prinzip wurden ja zunächst fast alle programmgesteuerten Rechenmaschinen gebaut. Die mit der Geräteserie Z 1 bis Z 5 gemachten Erfahrungen zeigen, daß derartige Rechenwerke recht komplizierte interne Schaltungen erfordern. Besonders das gleitende Komma stellt hohe Anforderungen. Mit Hilfe der Relais-technik ist es verhältnismäßig leicht, derartige Schaltungen aufzubauen, da das Relais ein ideales Mittel zum

Aufbau von Schaltungen aus logisch-mathematischen Ansätzen darstellt. Ein Relais greift mit einer Vielzahl von Kontakten in viele Stromkreise ein, und die Verknüpfungen bedürfen keiner verstärkenden Elemente, was bei Röhren nicht der Fall ist. Die direkte Übertragung solcher Schaltungen in eine elektronische Technik ist zwar oft durchgeführt worden, erfordert aber erheblichen Aufwand.

Auf die Frage, ob es nun einen vernünftigen Mittelweg zwischen dem Rechenwerk mit elementaren aussagenlogischen Operationen und der vollausgebauten Mehrspeziemaschine gibt, bieten sich auf Grund der Untersuchungen zahlreiche Möglichkeiten an. Als besonders vorteilhaft darf wohl folgende Lösung gelten:

1. 1. Als Informationseinheit wird eine Folge von Ja-Nein-Werten gewählt (Wort).
2. Als Grundoperationen gelten folgende:
 - (a) duale Addition;
 - (b) Komplementbildung;
 - (c) Links- und Rechtsverschiebung;
 - (d) Intersektion.

Die Komplementbildung besteht in der (aussagenlogischen) Umkehrung, d. h. in der

(Zeile fehlt im Original)

Subtraktion lösbar. Die Links- und Rechtsverschiebung ist bei Auffassung des Wortes als Dualzahl identisch mit Verdoppelung bzw. Halbierung der Zahl.

Die Intersektion ist aussagenlogisch gleichbedeutend mit der Bildung der Konjunktion zwischen je zwei Ja-Nein-Werten zweier Worte, welche der gleichen Stelle zugeordnet sind. Hiermit ist es möglich, aus einem gegebenen Wort entsprechend einer in einem anderen Wort gegebenen Anweisung einen Teil herauszuschneiden und getrennt zu verarbeiten. Ist z. B. das Wort bedeutungsmäßig aufgeteilt in Vorzeichen, Exponent und Mantisse (Zahl im gleitenden Komma), so kann der Exponent zur getrennten Verarbeitung aus dem vollen Wort herausgeschnitten werden, indem man die Operation der Intersektion mit einer Konstanten durchführt, welche in den Stellen, die den Exponenten zugeordnet sind, eine Eins aufweist und in allen anderen Stellen eine Null.

Damit wäre für die Konstruktion des Rechenwerkes eine günstige Lösung gefunden. Es sei nun auf die grundsätzlichen Gesichtspunkte bei der Programmierung eingegangen. Die Entwicklung der Programmsteuerung sei in diesem Zusammenhang, beginnend mit der Stufe der linearen Programme, wie folgt gezeichnet:

1. (a) Lineare Programme ohne Beeinflussung durch den Ablauf der Rechnung,

- (b) Sprung in Unterprogramme,
- (c) Sprung in Unterprogramme mit automatischer Rückkehr;
- 2. Beeinflussung des Programmablaufes durch die Rechnung:
 - (a) bedingte Ausführung einzelner Befehle,
 - (b) bedingte Sprungbefehle,
 - (c) bedingtes Anrufen von Unterprogrammen;
- 2. Programmspeicherung;
- 3. Programmspeicherung mit Adressenumrechnung;
- 4. Vereinigung von Programm- und normalem Informationsspeicher.

Die Stufen 1a sowie 2a und 2b lassen sich noch gut mit sogenannten Bandsteuerungen erreichen. Bei den Stufen 1b, 1c und 2c tritt allerdings schon ein Nachteil des Bandes in Erscheinung, da das bedingte Heranführen eines gerufenen Programmteiles unter Umständen den blinden Durchlauf längerer Bandteile erfordert. Hier setzt der Vorteil der Programmspeicherung ein, da das Aufsuchen beliebiger Programmteile nur an die Zugriffszeit des Speichers gebunden ist. Hiermit hängt nun eng das Umrechnen der Adressen entsprechend Stufe 4 zusammen, das einmal dazu dienen kann, die Indizes von Variablen abzuzählen (n -stellige Vektoren bzw. $m \cdot n$ -stellige Matrix) oder das Zusammenspiel beliebiger Unterprogramme beliebig frei zu gestalten, indem die Frage der Auswahl des nächsten Programmteiles zum Gegenstand der Rechnung selbst gemacht wird.

Bei der Entwicklung von Geräten in dieser Stufenfolge wurden zunächst Geräte entworfen und gebaut, welche für das Anzeigen und Umrechnen der Programme eigene Einrichtungen besitzen (Programmspeicher, Indexregister, Indexzähler usw.). Es zeigte sich jedoch bald, daß derartige Programmumrechnungen vorteilhaft mit dem gleichen Rechenwerk durchgeführt werden, in dem die eigentliche Informationsverarbeitung erfolgt. Ebenso ist es vorteilhaft, die normalen Informationseinheiten (Zahlen) strukturmäßig den Befehlen anzupassen und ein Wort wahlweise einmal die eine und einmal die andere Bedeutung annehmen

(Zeile fehlt im Original)

tionsarten logisch nicht mehr erforderlich. Im Gegenteil, es ergibt sich eine wesentlich höhere Beweglichkeit in der Programmierung, wenn beide Informationsarten im gleichen Speicher behandelt werden.

Damit sind gewisse logische Grundsätze für den Bau einfacher, aber sehr universeller Geräte gegeben. Gedankengänge dieser Art führten an mehreren Stellen zu Entwürfen und teilweise praktischen Ausführungen von Modellen [27, 28].

Insbesondere ausgehend von dem Projekt der MINIMA entstand über einige Zwischenentwürfe das Blockschema der Z 22 (Bild 12), wobei wesentliche Ergänzungen gegenüber dem eigentlichen MINIMA-Projekt eingebaut wurden.

Abbildung 11:

Als Hauptspeicher ist ein Trommelspeicher und als Schnellspeicher ein Ferritkernspeicher vorgesehen. Das Rechenwerk kann, wie oben erwähnt, die Operationen $+$, $-$, Verschieben, Intersektion durchführen. Ein wesentliches Merkmal im Aufbau des Befehlscodes sind die „funktionellen Bits“. Diesen sind (ohne Entschlüsselung) bestimmte Stromtore des Gerätes direkt zugeordnet, welche die Übertragungswege von Informationen freigeben oder sperren. Jedes Bit ist mit einem großen lateinischen Buchstaben benannt, so daß der Operationsteil des Befehls durch eine Aneinanderreihung solcher Buchstaben angegeben wird.

So bewirkt z. B. „E“ die Übertragung eines Wortes vom Speicher in das Befehlsregister, „A“ die Übertragung eines Wortes in den Akkumulator. Der Adressenteil des Befehls besteht aus einer Trommeladresse mit 13 Bits und einer Schnellspeicheradresse mit 5 Bits. Das Programmwerk besteht aus einem Befehlsregister, einem Steuerregister und einem Befehlszählregister. In das Befehlsregister läuft jeweils derjenige Befehl ein, der in der nächsten Wortzeit ausgeführt werden soll. Nachdem der Befehl eingelaufen ist wird er vom Befehlsregister auf das Befehlssteuerregister übertragen, von wo für die Dauer der nächsten Wortzeit die kommandierenden Einstellungen im Gesamtgerät vorgenommen werden. Besondere Vorsorge ist für das Durchzählen der Befehlsadressen bei linearen Programmen getroffen. Da von der Trommel durch die gleichen Übertragungs- und Auswahlorganisationen sowohl die Befehle als auch die durch die Befehle zu verarbeitenden Informationen laufen, wird bei linearen Programmen im allgemeinen abwechselnd ein Befehl und eine Zahl übertragen. Das Übertragen der Befehle auf das Befehlsregister ist jedoch wiederum die Wirkung von „Abrufbefehlen“, deren Adresse von Befehl zu Befehl um eins weiterzählen muß. Normalerweise benutzt man hierfür besondere Adressenregister mit Zähleinrichtungen.

Bei der Z 22 ist die Organisation jedoch so getroffen, daß der volle Abrufbefehl in der Zwischenwortzeit über ein Halbaddierwerk in ein Befehlszählregister übertragen wird, wobei die Trommeladresse um eins erhöht wird. Vom Befehlszählregister läuft er dann in der nächsten Wortzeit wieder im Kreislauf in das Befehlsregister. Der Vorteil gegenüber einfachen Adressenzählregistern besteht darin, daß der vollständige Befehltext einen Kreislauf ausführt und in geänderter Form wieder in das Befehlsregister gelangt. Wenn auch im allgemeinen die Änderung des Befehls lediglich in der Erhöhung der Adresse besteht, so kann doch der Umstand, daß der gesamte Befehl über das Befehlsregister läuft, dahingehend ausgenutzt werden, daß auch der Abrufbefehl eine oder mehrere Mikrooperationen auslösen kann.

Die Bedingungsorganisation ist so getroffen, daß bestimmte Schnellspeicher abhängig von zwei Befehlsbits P, Q die Ausführung des Befehls unterbinden oder freigeben. Die Schnellspeicher selbst werden einmal im Rahmen arithmetischer Operationen als Rechenwerksregister benutzt (Operanden, Multiplikator usw.) und dienen zum anderen in der Programmsteuerung als Indexregister.

Es ist noch besondere Vorsorge getroffen, daß Adressen leicht umgerechnet werden können. So kann durch ein Befehlsbit C der Adressenteil des Befehlsregisters direkt in den Akkumulator übertragen werden. Ferner sind drei Arten von Adressenumrechnungen mit je einem Befehl möglich. (G-Befehle; die Anregung hierzu gab Herr Dr. F. R. Güntsch, seinerzeit Technische Universität Berlin). Durch diese Operation wird die Beweglichkeit des Gerätes erheblich gesteigert.

(Zeile fehlt im Original)

sprüngliche Ziel hinaus, mit elementaren Operationen ein universelles Gerät zu bauen.

Die Grundprogramme bestehen aus dem Leseprogramm, arithmetischen Programmen und dem Druckprogramm. Sie beanspruchen zusammen etwa 1000 Befehle. Grundsätzlich kann jeder Benutzer sein eigenes Grundprogramm aufbauen. Jedoch bedeutet die Entwicklung eines Grundprogrammes eine erhebliche Arbeit, so daß von dieser Möglichkeit kaum Gebrauch gemacht wird. Das im allgemeinen benutzte Grundprogramm wird mit dem Namen „Freiburger Code“ bezeichnet.

Es seien hier noch als Förderer der Idee dieses Gerätes die Namen von Herrn Prof. Dr. H. Görtler, Universität Freiburg/Br., Prof. Dr. W. Haak, Technische Universität Berlin, und Prof. Dr. H. Cremer, Technische Hochschule Aachen, genannt. Diese drei Hochschulen erhielten dann auch die ersten Geräte. Heute ist das Gerät bei einer Reihe von Hochschulen und Forschungsstellen eingesetzt. Es hat aber auch in der Industrie und im Vermessungswesen Eingang gefunden.

Das Aufkommen der Transistoren und deren mittlerweile preiswerte Gestaltung hat auch in der Weiterentwicklung des Elektronenrechners Z 22 einen Niederschlag gefunden. Durch Verwendung dieser vorteilhaften Halbleiterelemente in Verbindung mit gedruckten Steckschaltungen entstanden daraus zwei neue Typen von Rechanlagen, nämlich die Geräte Z 23 und Z 31.

Die zur Verwendung in Wissenschaft, Industrietechnik und Behörden bestimmte volltransistorisierte Rechanlage Z 23 lehnt sich in ihrem logischen Aufbau an die bewährte Befehlsstruktur der Z 22 an und wurde hinsichtlich der Programmierungsmöglichkeiten wesentlich verbessert. Sie arbeitet im Binärsystem nach dem Serienprinzip. Die Leistungsfähigkeit wurde gegenüber ihrer Vorgängerin erheblich gesteigert. So beträgt das Fassungsvermögen der Magnetspeichertrommel 8192 Worte, das Wort zu 40 Binärstellen (entsprechend etwa 11 Dezimalstellen) gerechnet, bei beliebiger Zahlendarstellung mit gleitendem oder festem Komma. Der Ferritkern-Schnellspeicher wurde sogar um mehr als das Zehnfache vergrößert

und faßt 240 Worte. In Verbindung mit einer erheblich gesteigerten Ein- und Ausgabegeschwindigkeit und dem Übergang vom Zweitakt- zum Eintaktverfahren im Befehlskreislauf ergibt sich eine dreimal größere Rechengeschwindigkeit gegenüber der Z 22.

Die Rechenzeiten betragen

	mit festem Komma	mit gleitendem Komma
für die Addition	0,3 ms	10,6 ms
für die Multiplikation und Division	13 ms	20 ms

Für vorwiegend kommerzielle Anwendungen ist die volltransistorisierte Rechenanlage Z 31 gedacht. Sie arbeitet im Gegensatz zur Z 22 und Z 23 im Dezimalsystem, da es bei kaufmännischem Einsatz besonders auf hohe Ein- und Ausgabegeschwindigkeit ankommt. Bei einer Wort- bzw. Zahlenlänge von zehn Dezimalstellen plus einer Vorzeichenstelle, die außerdem noch zur Unterscheidung von Zahlen, Befehlen und Klartext dient, betragen die Rechenzeiten

	mit festem Komma
für die Addition und Subtraktion	0,4 ms
für die Multiplikation	28 ms (im Mittel)
für die Division	38 ms (im Mittel)

wobei sich bei kürzerer Zahlenlänge die Zeiten für die Multiplikation und Division wesentlich verringern. Die Informationsdarstellung erfolgt auch wieder serienmäßig.

Das Rechenwerk enthält zwei Akkumulatoren mit Verschiebemöglichkeit, denen zwei Addierwerke und ein Komplementwerk zugeordnet sind, zwei Zählregister sowie Einrichtungen zum Testen und Vergleichen. Es können auch logische Operationen, und zwar gleichzeitig mit arithmetischen Arbeiten, sowie Rechnungen mit mehrfacher Zahlenlänge ausgeführt werden.

Die Befehlsstruktur ist, soweit das bei einem dezimalen Rechner vertretbar erscheint, nach ähnlichem analytischen Prinzip wie bei den vorgenannten Rechenanlagen aufgebaut und gewährleistet eine große Beweglichkeit in der Programmierung, wodurch sich die Anlage dank einer durch Sicherheitscode und entsprechende Kontrollen ermöglichte hohe Rechensicherheit auch gut für wissenschaftlich-technische Probleme eignet.

Kennzeichnend für die Z 31 ist das Baukastenprinzip. Die Anlage kann je nach Bedarf den Erfordernissen des Benutzers durch Zusatzgeräte beliebig (und fast unbegrenzt) angepaßt werden. So kann z. B. die Speicherkapazität des Arbeitsspeichers von 200 bis auf 9800 Worte variiert werden. Speichererweiterungen sind durch Anschluß weiterer Magnetspeichertrommeln, Kernspeichersätze und Magnetbandeinheiten möglich. Ferner können Lochkarten- und Lochstreifengeräte, Schreibmaschinen, Drucker sowie Spezialgeräte (z. B. Zeichentische) angeschlossen werden.

Erwähnenswert ist abschließend vielleicht noch das Konzept einer *Feldrechenmaschine* [29, 30], das zwar zunächst noch nicht zum Bau eines Gerätes geführt hat, im Rahmen dieser Zusammenstellung aber kurz erwähnt werden soll, zumal ähnliche Überlegungen in jüngster Zeit auch an anderen Orten erwogen werden [31, 32].

Angeregt wurde der Verfasser hierzu durch Diskussionen über das Problem der Wetterrechnung. Die hierbei zu lösenden partiellen Differentialgleichungen lassen sich mit Feldern von Gitterpunkten lösen. Der Grundgedanke ist kurz der, ganze derartige Felder als Operanden zu verwenden und Operationen zwischen diesen zu definieren. Als solche kommen Feldadditionen, Feldmultiplikationen, Verschiebung des ganzen Feldes in Zeilen- und Spaltenrichtung und dergleichen in Frage. Konstruktiv läßt sich für diese Zwecke der verhältnismäßig wirtschaftliche Trommelspeicher gut einsetzen. Die Felder sind in passender Reihenfolge auf dem Umfang der Trommel gespeichert, so daß bei einer Trommelumdrehung ein komplettes Feld an den Lese- und Schreibköpfen vorbeiläuft. In passendem Zusammenspiel mit dem Rechenwerk lassen sich dadurch sehr günstige Zeiten für die Feldoperationen erzielen.

In der in obiger Betrachtung gegebenen Reihe von Geräten:

- Rechenwerk nur aussagenlogisch,
- Rechenwerk entsprechend Z 22 mit einfachen Grundoperationen,
- Rechenwerk mit voll ausgebauter Arithmetik,

stellt dieses Gerät eine weitere Stufe dar, bei der die Operanden Felder von Werten darstellen.

Im Rahmen einer Abhandlung über digitale Informationswandler verdienen noch zwei ebenfalls transistorisierte Geräte hier erwähnt zu werden, die unabhängig (Zeile fehlt im Original)

in Lochstreifen gestanzte Informationen des Rechners in Analogform als Kurven aufzeichnen. Es handelt sich hierbei einmal um das elektronische Planimeter Z 80 und zum anderen um den lochstreifen- bzw. lochkartengesteuerten Zeichentisch Graphomat Z 64. Beide Geräte sind für Anwendungen gedacht, bei denen es auf höhere Präzision ankommt.

Literatur

- [1] Babbage, Ch.: Passages from the Life of a Philosopher. Green and Longman, London 1864.

- [2] Babbage, H. P.: Babbage's Calculating Engines. E. and F. M. Spon, London 1889.
- [3] Hollerith, H.: The Electrical Tabulating Engine. J. Royal Statistic. Soc. 57 (1894) Teil 4, S. 678-682.
- [4] Couffignal, L.: Calcul mécanique. Sur l'emploi de la numération binaire dans les machines à calculer et les instruments nomomécanique. C. R. Acad. Sci. (Paris) 202 (1936), S. 1970-1972.
- [5] Valtat, R. L. A.: Calcul mécanique. Machine à calculer fondée sur l'emploi de la numération binaire. Académie des Sciences, Séance de 25. Mai 1936. S. 1745-1748. (Vgl. auch Deutsche Patentschrift Nr. 664012, mit französischer Priorität vom 12. Sept. 1931.)
- [6] Turing, A. M.: On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. Proc. London Math. Soc. Ser. 2, 42 (1937), S. 230-265. Berichtigung dtto. 43 (1937), S. 544-546.
- [7] Schreyer, H.: Das Röhrenrelais und seine Schaltungstechnik. Dissertation, Techn. Hochschule Berlin, 20. August 1941, 44 Seiten.
- [8] Schreyer, H.: Schaltung von Glimmlampe und Elektronenröhre als Röhrenrelais. Deutsche Patentanmeldung Sch 1704. Anm.: 19. Nov. 1940; Bek.: 12. Aug. 1954.
- [9] Aiken, H. H. and Staff of the Computation Laboratory. A Manual of Operation for the automatic Sequence Controlled Calculator. Annals Comput. Lab. Harvard Univ. Vol. 1. Harvard University Press, Cambridge/Mass., 1946.
- [10] Andrews, E. G.: A Review of the Bell Laboratories' Digital Computer Developments. Rev. Electronic Digital Computers, Joint Computer Conf., Philadelphia, 10.-12. Dez. 1951, S. 101-105.
- [11] Goldstine, A., Goldstine, H. H.: The Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC). Math. Tabl. Other Aids Comput. 2 (1946) No. 15, S. 97-110.
- [12] Zuse, K.: Rechenvorrichtung. Deutsche Patentanmeldung Z 391. Anm.: 16. Juni 1941; Bek.: 4. Dez. 1952.
- [13] Zuse, K.: Rechenmaschine (logarithmisch). Deutsche Patentanmeldung p 50746. Anm.: 1. Aug. 1949; Bek.: 9. April 1953.
- [14] Shannon, C. E.: A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits. Trans. Amer. Inst. Electrical Engrs. 57 (1938), S. 713-723.

- [15] Piesch, H.: Begriff der allgemeinen, Schaltungstechnik. Arch. Elektrotechn. 33 (1939) No. 10, S. 672–686.
- [16] Piesch, H.: Über die Vereinfachung von allgemeinen Schaltungen. Arch. Elektrotechn. 33 (1939) No. 11, S. 733–746.
- [17] Zuse, K.: Ansätze einer Theorie des allgemeinen Rechnens unter besonderer Berücksichtigung des Aussagenkalküls und dessen Anwendung auf Relais-schaltungen. Unveröffentlicht (1943).
- [18] Zuse, K.: Rechenvorrichtung zum Darstellen einer oder mehrerer Funktionen. Deutsches Patent Nr. 962 654. Pat. ab 31. Mai 1949.
- [19] Zuse, K.: Verfahren zur Abtastung von Oberflächen und Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Deutsches Patent Nr. 872645. Pat. ab 3. Okt. 1943.
- [20] Zuse, K.: Vorrichtung zum Ableiten von Resultatangaben mittels Grundope-rationen des Aussagenkalküls. Deutsche Patentanmeldung Z394. Anm.: (Zeile fehlt in Original)
- [21] Zuse, K.: Theorie der angewandten Logistik. Kap. 1, Allgemeiner Plankalkül – Kap. 2, Allgemeine Rechenpläne – Kap. 3, Rechenpläne mit Zahlenrech-nung – Kap. 4, Operationen mit algebraischen Ausdrücken (insbes. Aussa-genkalkül) – Kap. 5, Schachtheorie. Unveröffentlicht (1945). Eine Kurzfaz-sung 'Über den Plankalkül' ist erschienen in der Zeitschrift 'Elektronische Rechenanlagen' 1 (1959) No. 2, S. 68–71.
- [22] von Neumann, J.: First Draft of a Report on the EDVAC. Contract No. W-670-ORD-492, Moore School of Electrical Engineering, University of Penn-sylvania, 30. Juni 1945.
- [23] Seifers, H.: Rechenautornat SM 1 für Vermessung und Flurbereinigung. Z. Vermessungswesen 79 (1954) No. 9, S. 285–294.
- [24] Piloty, H., Piloty, R., Leilich, H. O., Proebster, W. E.: Die programmgesteu-erte elektronische Rechenanlage München (PERM). Nachrichtentechn. Z. 8 (1955) S. 603–609 und 650–658.
- [25] Biermann, L. (Herausg.): Vorträge über Rechenanlagen, gehalten in Götlin-gen, 19. bis 21. März 1953. Max-Planck-Institut für Physik, Göttingen 1953.
- [26] Elektronische Rechenmaschinen und Informationsverarbeitung. Bericht über die GAMM/NTG Fachtagung, Darmstadt, 25.–27. Okt. 1955. Nachrichten-techn. Fachber. 4. Vieweg, Braunschweig 1956.

- [27] Fromme, Th., Pösch, H., Witting, H.: Modell eines Rechenautomaten mit kleinstem Aufwand zum Studium von Programmierungsproblemen, 1954/55. Unveröffentlicht.
- [28] van der Poel, W. L.: A Simple Electronic Digital Computer. Appl. sci. Res., Sec. B 2 (1952), S. 367-400.
- [29] Zuse, K.: Die Feldrechenmaschine. Über den Entwurf einer programmgesteuerten Rechenmaschine, welche insbesondere für partielle Differentialgleichungen geeignet ist. MTW-Mitteilungen (Wien) 5 (1958) No. 4, S. 213-220.
- [30] Zuse, K.: The Field Computer. Design of a Program-Controlled Calculating Machine Particularly Adapted for Partial Differential Equations. Actas Congreso Internacional de Automatica, Madrid, 13.-18. Okt. 1958. Instituto de Electricidad y Automatica, Madrid 1961, S. 190-193.
- [31] Brown, I. F., Meltzer, B.: Some Aspects of the Logical and Circuit Design of a Digital Field Computer. Electronic Engng. 31 (1959) No. 380, S. 590-592.
- [32] Unger, S. H.: A Computer Oriented Toward Spatial Problems. Proc. Western Joint Computer Conf., Los Angeles, 6.-8. Mai 1958, S. 234-239.
- [33] Dirks, G., Dirks, G.: Elektrisches Rechenverfahren. Deutsche Patentanmeldung D 6578 IX b/42 m. Anm.: 10. Okt. 1944; Bek.: 3. Sept. 1953.
- [34] Dirks, G.: Verfahren und Vorrichtungen zum Betreiben von elektrischen Rechen-, Schreib-, Sortier-, Speicher- u. dgl. Maschinen. Deutsche Patentauslegeschrift Nr. 1021188. Anm.: 1. Okt. 1948; Bek.: 19. Dez. 1957. (Denselben Gegenstand betreffend, jedoch ausführlicher in der Beschreibung ist die Schweizerische Patentschrift Nr. 341665.)
- [35] Dirks, G., Dirks, G.: Magnetische Speichersteuerung für Rechen-, Schreib-, Sortiergeräte. Das unter diesem Titel am 12. Juli 1943 eingereichte und beim Reichspatentamt unter dem ursprünglichen Aktenzeichen D91194 IXb/43a registrierte Patentgesuch wurde unterteilt und bekanntgemacht als Deutsche Patentauslegeschriften Nr. 1007091 (Bek.: 25. April 1957) und Nr. 1066042 (Bek.: 24. Sept. 1959).
- [36] Dirks, G., Dirks, G.: Magnetisches Speichergerät zur Steuerung usw. von Schreib-, Rechen-, Sortier-Maschinen, Vergleichs- und sonstigen Geräten. Das unter diesem Titel am 17. Juli 1943 eingereichte und beim Reichspatentamt unter dem ursprünglichen Aktenzeichen D91234 IXb/43a registrierte Patentgesuch wurde unterteilt und bekanntgemacht als Deutsche Patentauslegeschriften Nr. 1011178 (Bek.: 27. Juni 1957), Nr. 1020468 (Bek.: 5. Dez. 1957) und Nr. 1020469 (Bek.: 5. Dez. 1957).